



CONFÉDÉRATION SUISSE  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl.<sup>3</sup>: G 21 C 17/10

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



## ⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑪

626 187

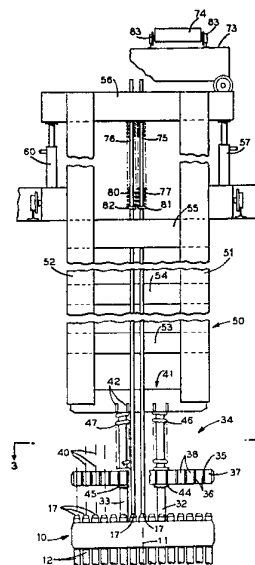
②① Numéro de la demande: 11404/78	⑦③ Titulaire(s): The Babcock & Wilcox Company, New York/NY (US)
②② Date de dépôt: 06.11.1978	
③⑩ Priorité(s): 21.11.1977 US 853074	⑦② Inventeur(s): Felix S. Jabsen, Lynchburg/VA (US)
②④ Brevet délivré le: 30.10.1981	
④⑤ Fascicule du brevet publié le: 30.10.1981	⑦④ Mandataire: Kirker & Cie, Genève

### ⑤④ Dispositif pour l'examen des barres combustibles d'un élément combustible monté dans un réacteur nucléaire.

⑤⑦ Il s'agit d'une monture d'extrémité alvéolaire pour ensemble de combustible nucléaire avec détecteur de radiations.

Un chapeau (17) coiffant l'extrémité de chaque barre, est accessible à travers la structure alvéolaire de monture (34) à sonde métallique creuse qui entre avec lui en contact direct évitant l'interposition de matières faisant écran (eau, métal et autres) entre l'intérieur de la barre et le détecteur de radiations. Un pont roulant et un chariot permettent le positionnement précis du détecteur.

Applicable à la vérification périodique des barres combustibles d'un coeur de réacteur.



## REVENDECATIONS

1. Dispositif pour l'examen d'une barre combustible, dans un ensemble combustible comportant une série de barres combustibles orientées axialement dans un récipient sous pression de réacteur nucléaire, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un tube creux d'exploration de radiations (75, 76) qu'on amène dans l'axe de la barre combustible (12) à examiner et en contact direct avec cette barre, et une structure de monture d'extrémité alvéolaire (34) disposée transversalement audit tube explorateur et à la barre combustible en contact avec lui, les alvéoles de ladite structure de monture étant situés dans l'axe des barres combustibles afin que ledit tube d'exploration puisse traverser l'un de ces alvéoles pour entrer en contact avec la barre combustible.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacune des barres combustibles (12) comprend encore un chapeau d'extrémité (17), ce chapeau étant évidé et en contact direct avec ledit tube d'exploration (75, 76).

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un chariot (61) mobile jusqu'en des positions repérées, ce chariot portant ledit tube d'exploration pour l'amener dans l'axe d'au moins une des barres combustibles.

4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une unité d'exploration de radiations (74) et un binard explorateur (73) supportant cette unité pour permettre de l'amener dans l'axe d'un tube d'exploration (75, 76) de la barre combustible située dans le prolongement de ce tube.

La présente invention concerne l'examen d'une barre combustible dans un ensemble combustible comportant une série de barres combustibles orientées axialement dans un récipient sous pression de réacteur nucléaire.

Habituellement, pour obtenir de l'énergie utile d'un réacteur nucléaire, il est nécessaire d'assembler à une concentration adéquate de la matière fissile dans le cœur du réacteur. La matière fissile est usuellement préparée sous forme d'oxyde d'uranium ou de plutonium mis par compression sous forme de blocs cylindriques qu'on charge dans de longs tubes creux. Une fois munis de chapeaux et scellés, ces tubes sont dits barres combustibles. En général, pour réduire les frais de fabrication, il est courant de prévoir des tampons métalliques pleins qu'on soude en place dans la barre combustible tubulaire.

En vue de renforcer l'ensemble de barres combustibles constituant le cœur du réacteur, on a coutume de diviser ces barres combustibles en groupes d'un seul tenant. Chacun de ces groupes est composé d'environ deux cents barres combustibles réunies en un ensemble combustible qu'on peut insérer dans le cœur ou extraire du cœur du réacteur.

Les barres combustibles de chacun de ces ensembles combustibles sont réunies d'un certain nombre de manières. Typiquement, on pose une série de grilles alvéolaires à divers niveaux sur la longueur des barres combustibles de l'ensemble. En outre, les dimensions des alvéoles sont telles que les plaques métalliques constituant les grilles portent contre les parties adjacentes des surfaces des barres combustibles afin de stabiliser ces barres et de les maintenir en positions voulues dans le cœur. Les extrémités des barres combustibles sont souvent logées dans des montures d'extrémité qui offrent un soutien mécanique additionnel. Ces montures sont souvent des moulages pesants et onéreux de formes assez particulières. Outre qu'ils sont coûteux, ces moulages sont difficiles à fabriquer.

En plus, ces montures d'extrémité existantes soulèvent une autre difficulté, plus grave, résultant de ce que les barres combustibles ont à supporter, dans le cœur du réacteur, un milieu extrêmement

hostile. Les conditions de température et de pression, ainsi que les effets de vibrations et de radiations, par exemple, sont extrêmement rigoureux dans le cœur de réacteur et mettent à rude épreuve toutes les barres combustibles. Il va sans dire qu'il est indispensable d'examiner périodiquement ces barres pour repérer celles qui sont détériorées du fait de l'apparition de fuites ou autrement.

Usuellement, pour opérer ces examens, on extrait l'ensemble combustible du cœur de réacteur et on le place dans un récipient. On refoule un fluide à travers le récipient et l'on surveille le niveau de rayonnement du fluide qui ressort du récipient. Si le niveau de radioactivité du fluide sortant du récipient est exceptionnellement élevé, c'est qu'une ou plusieurs des barres combustibles fuient ou, le cas échéant, que le fluide a détaché de la surface de la barre de la matière radioactive vagabonde. De toute manière, si l'on note un niveau de radioactivité exceptionnel, il faut démonter l'ensemble combustible à l'aide de manipulateurs télécommandés. Après ce démontage, il faut examiner individuellement les barres combustibles de l'ensemble pour identifier la ou les barres qui fuient. On extrait alors la ou les barres combustibles défectueuses en vue de leur retraitement, puis on remonte l'ensemble combustible, encore à l'aide de manipulateurs à distance, à blindage de protection contre les radiations, avec les barres combustibles partiellement usées et de nouvelles barres suivant les cas.

Il va sans dire que ce processus prend du temps et est onéreux. Il est clair qu'il serait éminemment souhaitable de disposer de techniques améliorées pour l'examen des barres combustibles de réacteurs nucléaires.

Les difficultés précitées, ainsi que d'autres, rencontrées selon la technique antérieure sont supprimées par la mise en œuvre de l'invention telle que définie par la revendication 1.

La nature alvéolaire conférée à la monture d'extrémité selon l'un des aspects de l'invention a encore pour avantage de réduire le prix de revient des éléments combustibles. En effet, on l'a dit, les montures d'extrémité pour ensemble combustible sont couramment, selon la technique antérieure, de lourds moulages. Or, outre qu'ils sont difficiles à fabriquer, ces moulages exigent des contrôles de qualité poussés, ce qui augmente le prix de revient global. Par contre, la monture d'extrémité selon l'invention est réalisée à partir de plaques métalliques estampées qui s'imbriquent les unes dans les autres pour constituer une structure peu coûteuse, mais suffisamment robuste.

Ainsi, l'invention permet de vérifier l'intégrité de structure de barres combustibles pour réacteur nucléaire par une technique améliorée n'exigeant pas le démontage laborieux des ensembles combustibles dans lesquels ces barres sont usuellement montées.

Pour mieux faire comprendre l'invention, on va maintenant en décrire à titre d'exemple une réalisation préférée en se référant aux dessins annexés, sur lesquels:

la fig. 1 est une vue de face en élévation avec coupes d'une partie d'un ensemble combustible et d'un dispositif d'examen selon l'invention;

la fig. 2 est une vue en élévation avec coupes et arrachement d'une barre combustible type pour utilisation selon le mode de réalisation de l'invention illustré par la fig. 1;

la fig. 3 représente une structure de monture d'extrémité vue en plan suivant la ligne 3-3 de la fig. 1, en observant dans le sens des flèches;

la fig. 4 est, en élévation, une vue de face en coupe d'une structure type selon l'invention, montée sur un récipient sous pression de réacteur nucléaire.

Pour bien faire comprendre l'invention, on va se référer à la fig. 1, qui représente un ensemble combustible 10, centré sur un axe longitudinal 11. Des barres combustibles 12, au nombre d'environ deux cents, sont groupées parallèlement à l'axe 11, l'ensemble ayant, en coupe transversale, une forme sensiblement carrée.

Une barre combustible type selon l'invention est représentée sur la fig. 2. Cette barre 12 comporte un corps tubulaire mince 13 qui enferme une série de blocs combustibles 14 de forme générale

cylindrique. On loge les blocs combustibles 14 dans la barre en prévoyant, pour absorber les dilatations et gonflements qu'ils subissent usuellement en service, des moyens constitués par un ressort à boudin 15 inséré sans jeu dans l'une des extrémités du corps tubulaire 13. Comme représenté, le ressort à boudin 15 porte contre le bloc combustible 14 voisin et contre la tranche transversale 16 d'un chapeau d'extrémité 17 coiffant la barre combustible. Comme représenté et selon un aspect important de l'invention, on ménage dans le chapeau 17 un évidement 20 pour réduire au minimum pratiquement exigé par la sécurité le volume de matière interposé entre les blocs combustibles 14 et le détecteur et recueillir les gaz éventuellement dégagés dans le volume 21 défini par l'évidement 20 du chapeau 17, le ressort à boudin 15 et la partie du corps 13 de barre combustible juxtaposée au ressort 15.

Le chapeau 17 ferme hermétiquement l'extrémité ouverte du corps tubulaire 13, étant de préférence soudé sur l'extrémité ouverte du corps tubulaire 13 à la jonction entre la tranche de ce corps et un redan annulaire 22 qui fait saillie radialement au-delà d'un tronçon cylindrique 23 du chapeau 17. Comme représenté sur la fig. 2, le tronçon cylindrique 23 pénètre sans jeu dans le corps tubulaire 13.

Le tronçon du chapeau 17 extérieur au corps tubulaire 13 se termine par un chanfrein 24 et par une face plate 25 transversale à l'axe 26 de la barre combustible 12. Dans l'exemple illustré, le chanfrein 24 est incliné à 45° sur la face plate 25 et sur l'axe 26.

A titre d'exemple, on a représenté en 27 un chapeau d'extrémité de barre combustible d'un modèle un peu différent, scellé en place sur l'extrémité du corps 13 opposée à celle fermée par le chapeau 17. Le chanfrein 30 du chapeau 27 est moins accusé que le chanfrein 24 du chapeau 17. De ce fait, la face plate 31 transversale à l'axe 26 a une aire beaucoup plus grande.

En revenant à la fig. 1, on voit que l'ensemble combustible 10 comporte aussi un certain nombre de tubes de guidage de barre de réglage, dont deux seulement sont représentées en 32 et 33. Ces tubes de guidage de barre de réglage sont aussi parallèles à l'axe 11; comme représenté sur la fig. 1, ils traversent tout l'ensemble combustible et présentent des tronçons qui dépassent longitudinalement les extrémités des barres combustibles 12. Ces tronçons dépassant des tubes de guidage 32, 33 sont engagés dans une structure de monture d'extrémité 34, comportant typiquement une monture d'extrémité à grille alvéolaire 35.

Comme représenté, la monture à grille 35 est espacée au-dessus des extrémités des barres combustibles 12. On la réalise par assemblage de plaques 36 et 37 perpendiculaires entre elles. Les plaques 36 présentent un ensemble de fentes équidistantes assez larges pour recevoir les plaques perpendiculaires 37, qui présentent des fentes correspondantes, dirigées à l'opposé, permettant d'engager à fond les deux plaques l'une sur l'autre. Selon un aspect majeur de l'invention, les alvéoles rectangulaires 38 définies par les plaques 36 et 37 intermêtrées en réseau s'étendent dans l'axe des chapeaux 17 des barres combustibles, comme indiqué en traits mixtes en 40.

Une grille de retenue transversale 41, appartenant aussi à la structure de monture 34, est espacée longitudinalement de la monture 35 et située du côté de celle-ci opposé aux barres combustibles 12.

La fig. 3 est une vue de détail en plan de la grille de retenue 41. Typiquement, une ossature, formée d'éléments de plaque plats 42 butant contre des éléments analogues 43 qui leur sont perpendiculaires, rencontre et soutient les parties terminales des tronçons des tubes de guidage 32, 33 qui dépassent au-dessus des chapeaux 17 des barres combustibles (fig. 1). On notera d'après la fig. 3 que les éléments de plaque 42, 43 constituant l'ossature de la grille de retenue 41, ainsi que les plaques sécantes 36 et 37 qui constituent la monture 35 de la structure de monture 34 n'interceptent en aucune façon les chapeaux 17 des barres combustibles, dont trois seulement sont indiqués sur la fig. 3. Grâce à cet aspect de l'invention, il est

possible de vérifier individuellement l'intégrité des barres combustibles d'une manière qu'on exposera ci-dessous en détail.

Des colliers 44, 45 (fig. 1) sont respectivement fixés sur les tubes de guidage de barre de réglage 32, 33 pour porter contre la face transversale adjacente de la monture à grille 35 afin de limiter le mouvement décrit par cette monture vers les barres combustibles 17 suivant l'axe longitudinal 11. Les tubes de guidage, dont deux sont indiqués en 32, 33, ou des prolongements posés sur ces tubes traversent la monture à grille et la grille de retenue 41. Les extrémités des tubes de guidage 32, 33 sont fixées, comme représenté sur la fig. 3, dans des alvéoles respectifs définies par l'ossature constituant la grille de retenue 41, pour limiter le mouvement décrit par l'ensemble combustible 10 (fig. 1) suivant l'axe 11 à l'opposé de la grille de retenue 41. Des ressorts à boudin 46, 47 sont enfilés axialement chacun sur l'un des tubes de guidage de barre de réglage 32, 33, entre la monture à grille 35 et la grille de retenue 41. Ces ressorts résistent au déplacement longitudinal de l'ensemble combustible 10.

Selon l'invention, il est prévu un support d'exploration 50 à positionner au-dessus et dans l'axe de l'ensemble combustible 10. Comme représenté sur la fig. 1, le support d'exploration 50 comprend un ensemble rectangulaire de quatre organes disposés longitudinalement, dont deux sont représentés en 51 et 52 sur la fig. 1. Les organes 51, 52 sont transversalement espacés l'un de l'autre et maintenus en formation rigide par des grilles alvéolaires 53, 54 et 55. Ils sont fixés à une traverse 56 montée sur quatre vérins hydrauliques dont deux seulement, 57 et 60, figurent dans le plan de coupe de la fig. 1. Lorsqu'ils sont mis en action dans un sens ou dans l'autre, les vérins 57, 60 déplacent axialement le support d'exploration 50 pour le rapprocher ou l'écarter de l'ensemble combustible 10.

Les vérins hydrauliques 57, 60, la traverse 56 et le support d'exploration 50 sont montés d'un seul tenant sur un chariot à mouvement contrôlé 61, qu'on voit le mieux sur la fig. 4. Comme représenté, le chariot 61 comporte un bâti transversal 62 qui supporte les vérins hydrauliques 57, 60 et, par leur intermédiaire, le support d'exploration 50. Quatre roues, dont deux, 63 et 64, sont représentées sur la fig. 4 et sont situées aux extrémités du bâti 62. Ces roues roulent dans des chemins 65 ménagés dans une traverse principale 66. Cette traverse principale 66 est elle-même munie de roues 67, 70 montées sur des axes perpendiculaires à ceux des roues 63, 64. Ces roues 67, 70 roulent sur des chemins 68 fixés sur le rebord d'un récipient sous pression 69 du réacteur nucléaire.

Grâce à ces jeux de roues 63, 64 et 67, 70 perpendiculaires entre eux, on peut amener le support d'exploration 50 en position précisément repérée par rapport à tel ou tel ensemble de combustible 71 du cœur de réacteur 72. L'amenée du chariot 61 en position repérée par rapport au cœur de réacteur 72 peut être commandée soit manuellement, soit automatiquement par des servomoteurs ou analogues.

La traverse 56 du chariot à mouvement contrôlé 61 offre aussi un chemin aux roues d'un binard d'exploration 73, auquel est fixée une unité d'exploration gamma 74 permettant de vérifier individuellement l'intégrité des barres combustibles. Comme illustré par la fig. 1, on amène sélectivement l'unité 74 dans l'axe de l'un de plusieurs tubes de détection de radiations 75, 76. Ces tubes 75, 76 sont ouverts à leurs extrémités voisines de l'unité d'exploration 74, mais scellés à leurs extrémités opposées qui sont en contact direct, comme représenté, avec les chapeaux 17 des barres combustibles. Ce contact direct des tubes 75, 76 avec les chapeaux 17 est assuré par des ressorts 77, 80. Ces ressorts pressent de haut en bas les tubes 75, 76 contre les chapeaux 17 en prenant appui contre des butées 81, 82 et contre la traverse 56.

En vue de son positionnement précis par rapport aux tubes détecteurs 75, 76, l'unité d'exploration 74 est montée sur un autre jeu de roues 83, perpendiculaires aux roues du binard 73.

Selon un aspect de l'invention, les tubes détecteurs 75, 76 évitent l'interposition de matériaux faisant écran sur le trajet reliant l'unité

exploratrice 74 au chapeau 17 de la barre combustible en cours d'examen. Typiquement, le matériau-écran ainsi tenu à l'écart est l'eau 84 (fig. 4) présente dans le récipient sous pression 69. Ainsi, les tubes détecteurs 75, 76 (fig. 1) établissent un trajet de propagation rectiligne bien dégagé entre une barre combustible 12 et l'unité exploratrice 74.

En service, comme illustré sur la fig. 4, on amène le support d'exploration 50 dans l'axe de l'ensemble combustible 71 à examiner. On fait agir les vérins hydrauliques 57, 60 pour qu'ils amènent axialement le support 50 en contact avec l'ensemble combustible, comme représenté en détail sur la fig. 1. Comme illustré par cette figure, les tubes explorateurs 75, 76 sollicités par les ressorts 77, 80 glissent à travers les alvéoles respectifs des structures de grille 53, 54 et 55. De plus, selon l'invention, les tubes 75, 76 traversent aussi les alvéoles situés en regard de la grille de retenue 41 et de la monture à grille 35 pour venir porter directement contre les chapeaux respectifs des barres combustibles 12. Les deux tubes 75, 76 représentés à titre d'exemple sur la fig. 3 traversent la grille de retenue 41 et la monture à grille 35. On conçoit qu'il est indiqué de prévoir, pour la mise en œuvre de l'invention, des tubes explorateurs 75, 76 beaucoup plus nombreux que les deux tubes représentés sur les fig. 1 et 3, en vue d'accélérer l'examen séquentiel des radiations émises par chacune des barres combustibles 12. On peut aussi, pour réduire le temps total d'examen, monter sur le binard 73 plus d'une unité exploratrice.

Ainsi, on déplace l'unité exploratrice 74, manuellement ou à l'aide de servomoteurs ou analogues, pour l'amener automatiquement dans l'axe de l'un des tubes explorateurs 75, 76. Typiquement, un détecteur semi-conducteur au germanium ou un détecteur à scintillation à cristal convient pour observer les radiations émanant

de la barre examinée. Du fait que le tube explorateur situé dans l'axe du détecteur élimine les matériaux formant écran du trajet reliant la barre combustible au détecteur, et que l'évidement 20 (fig. 2), ménagé dans le chapeau 17 de chaque barre, réduit le volume de matière faisant écran sur ce trajet, le signal de radiation enregistré à partir de la barre combustible 12 est de haute qualité, ce qui permet d'examiner individuellement les barres combustibles sur place, sans avoir à extraire en totalité un ensemble combustible 71 (fig. 4) du récipient sous pression 69 pour opérer par télécommande son démontage et son examen détaillés.

Pour passer à un autre groupe de barres combustibles 12 (fig. 1), on fait agir les vérins hydrauliques 57, 60 en vue d'extraire axialement les tubes d'exploration 75, 76 de l'ensemble combustible 10 et de leur faire franchir la structure de monture d'extrémité 34, c'est-à-dire la monture à grille 35 et la grille de retenue 41. On amène le chariot 61 (fig. 4) dans une nouvelle position repérée afin de placer les tubes explorateurs 75, 76 (fig. 1) dans l'axe de deux autres barres combustibles à examiner. Une fois ces tubes 75 et 76 ainsi positionnés, on met encore en action des vérins hydrauliques 57, 60 pour faire descendre les tubes explorateurs 75, 76 à travers les alvéoles longitudinalement alignés de la grille de retenue 41 et de la monture à grille 35 et les appliquer contre les chapeaux 17 respectifs. On manipule ultérieurement l'unité exploratrice de radiations 74 et le binard associé 73 pour les amener dans l'axe d'un des tubes explorateurs 75, 76 et ainsi de suite, jusqu'à avoir terminé l'examen de toutes les barres combustibles du cœur de réacteur 72 (fig. 4).

Une fois l'examen effectué en totalité, on retire du récipient sous pression 67 toute la structure d'examen, depuis le support 50 jusqu'aux chemins 68, afin de remettre le réacteur en marche ou d'en disposer en vue de travaux ultérieurs.

FIG.1

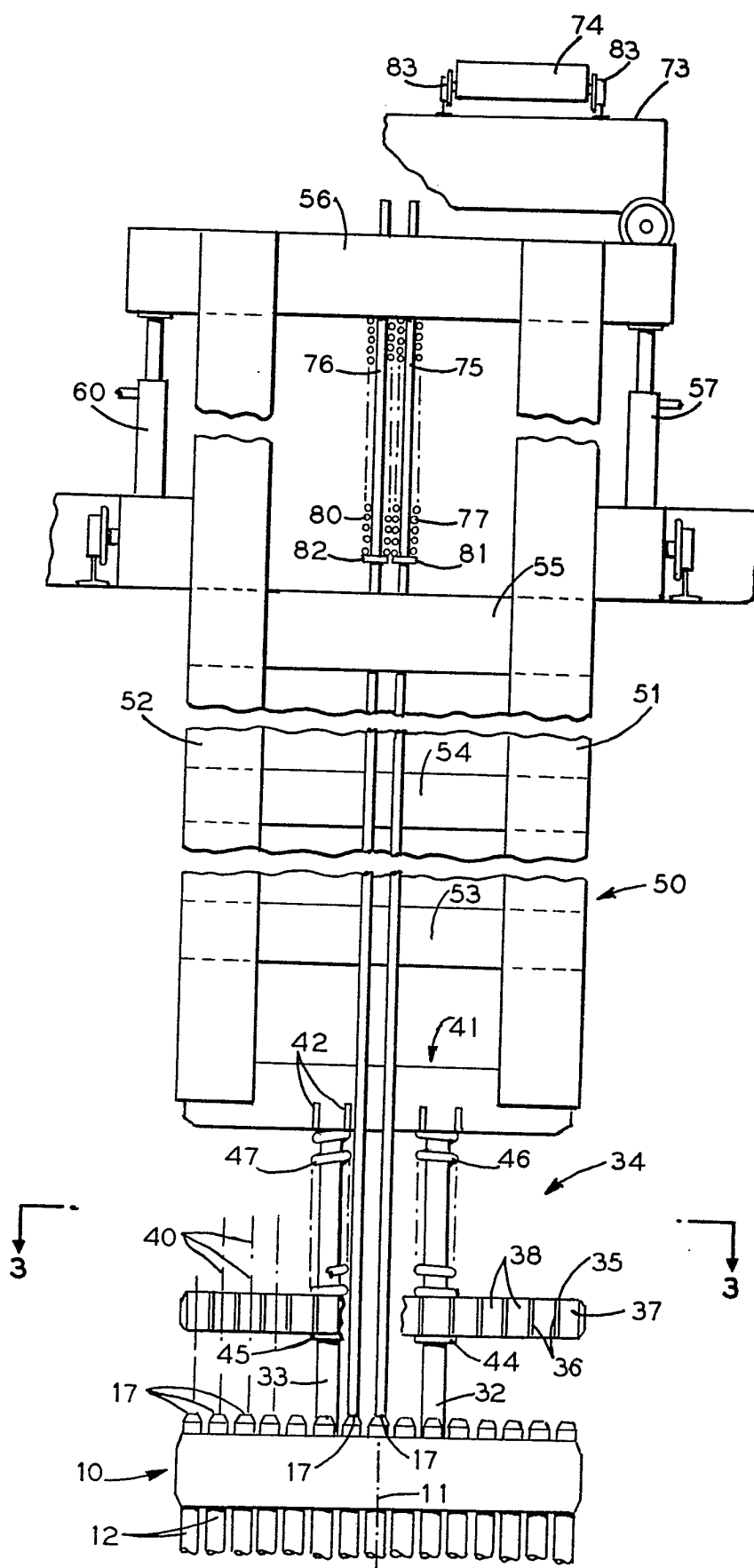


FIG. 3

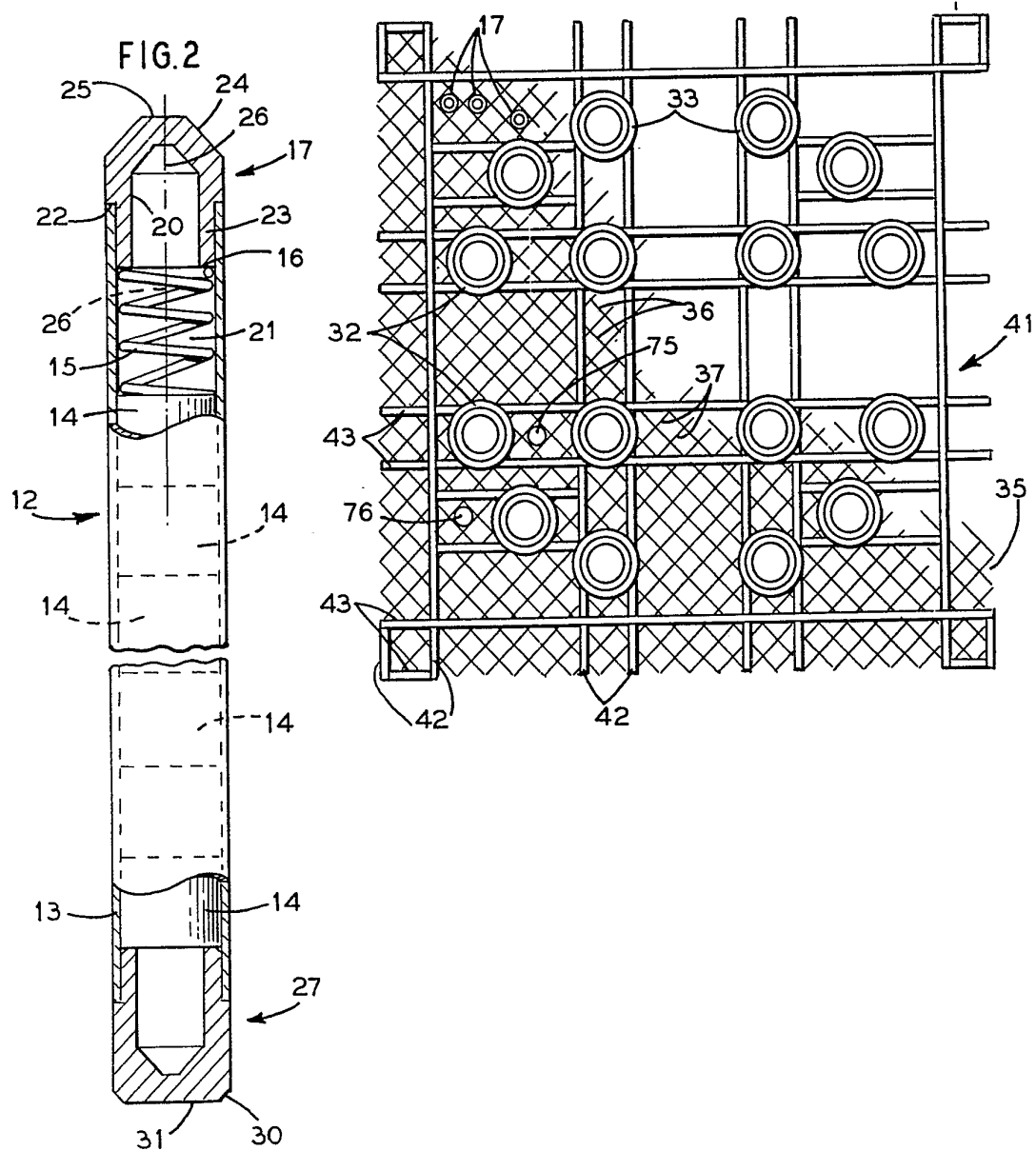


FIG. 4

